

特集：Eーディフェンスによる地震防災への挑戦

超高層建物の被害様相と防災対策

大都市を襲う長周期地震動を見据えて

主任研究員 長江拓也



はじめに

現在、わが国の太平洋側では海溝型の巨大地震が高い確率で発生すると予測されています。このとき、ゆっくり揺れる成分に力を有する長周期地震動が内陸に伝わり、大都市の超高層建物群を長時間にわたって強く揺さぶる恐れがあります。こうした状況下で、防災科研は、超高層建物の被害の軽減をめざす大規模実験に取り組んでいます。実験では、Eーディフェンスの持つ性能を最大限に活かし、長周期地震動をうける超高層建物の揺れを引き起こします。

骨組の安全性に関する実験

この実験では、試験体の下層部分を鉄骨造骨組とし、その上の重量はコンクリート錘に置換しました。コンクリート錘の間に積層ゴムと鉄製ダンパーを挟むことで、超高層建物の揺れを発生させました。**写真1**がその試験体になります。重量は、Eーディフェンスの限界である1200tにあと数パーセントです。ここで、建物を構成する骨組みの大切な部分を考えてみましょう。木の枝にぶら下がって力をかけて揺さぶると、枝が根元から折れます。骨組みの中でも、梁の根元に大きな力がかかります。設計では、大地震時にここが簡単には折れず粘りながら耐える、と想定しています。しかし、その一番大きな力がかかる部分に柱と梁のつなぎ目（接合部）があり、問題を難しくします。**写真**



写真1 骨組の安全性に関する実験



写真2 梁の根元の接合部（左：工場溶接，右：現場溶接）

2は試験体における柱と梁の接合部分です。柱と梁の接合部には、現場で溶接する様式と工場で溶接する様式がありますが、実験では、**写真2**に示すように、それらのディテールをできるだけ忠実に再現しました。**図1**に、設計用地震動と長周期地震動（名古屋三の丸波）の揺れが、Eーディフェンスに設置された試験体の骨組みに与えた変形角を示します。三の丸波は、東海・東南海地震を想定し名古屋で予測されている長周期地震動で、威力のあるほうに分類されます。長周期地震動を受ける超高層建物の骨組みは、設計で考えられていた変形の数倍もの大変形を

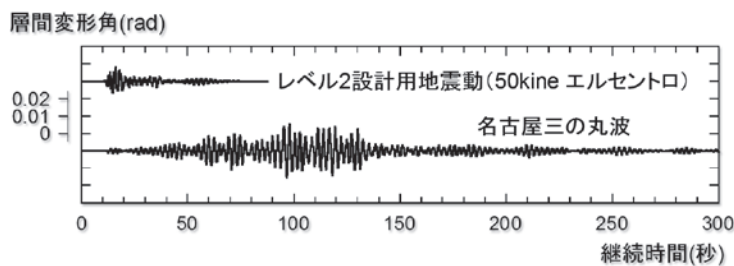


図1 実験による骨組の層間変形角履歴

一気に受けるのではなく、設計で考えられている値の1.5倍程度の変形を長時間に渡って何度も繰り返し受けることがわかります。設計時には、ある程度の安全を見て限界値を与えているので、1.5倍くらいの最大変形ならば、大きな被害にならないであろう、という考えもあったかもしれません。しかし、こうした場合の損傷はそのような観点だけで計ることはできません。針金を曲げるときを思い浮かべてみてください。1回曲げただけでは、局部的に色がやや白っぽくなるだけです。しかし、同じ箇所を何度も繰り返し、押したり戻したりしているうちに、とうとうそこで切れてしまいます。

さて、実験では、設計用地震動と首都圏で想定される長周期地震動の加振を終え、その後の三の丸波の加振の途中で、梁の根元の下フランジが溶接部分で切れてしまいました。それは、現場で溶接したタイプのもので、工場で溶接したタイプは、その数倍以上の能力を示しました。現場で溶接したものの破断状況を詳しく調べたところ、現場で組み立てるときに必要なウェブのボルト接合、現場での溶接に適したスカラップ（溶接棒が通るための蛤くらいの穴）の形状等、ものづくりの過程で要求される条件が複雑に絡み合っていました。

さて、超高層建物において多数の梁の根元に破断が生じれば、大規模な補修が必要になることは明らかです。その程度によっては、継続使用を放棄しなければいけない状況も出てくるか

もしれません。その対策としてダンパーによって共振を抑える手法が期待されています。これを主題とする実験は、この9月に実施されました。実験において、ダンパーは骨組が吸収していたエネルギーの8割近くを肩代わりして、骨組の損傷を激減さ

せました。

個々の建物で、設計内容をもう一度見直して、設計時において考えられていなかった地震動に対する再評価、およびその手当てが必要です。

室内の安全性に関する実験

超高層建物の上層部分は特に大きく揺れます。床が前後左右に数メートル移動し続けるのです。この実験では、そうした揺れを受ける超高層建物内のオフィス、マンションについて、室内空間を再現し、オフィス機器、家具、什器における、転倒状況、移動状況、飛散状況を総合的に調べました。写真3に示す試験体は、多くの室内空間を提供できる大型の剛な骨組の下に、積層ゴムとコンクリート錘からなる長周期地震動の増幅装置を組み込んでいます。

住宅やオフィスを忠実に再現し、そこに対策した場合と、対策していない場合のシナリオを用意して、高層階の揺れを与えました。写真4



写真3 室内の安全性に関する実験

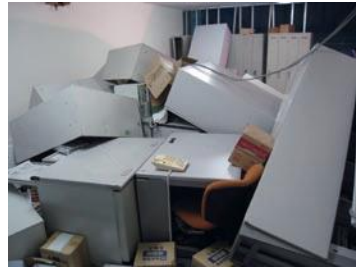


写真4 オフィス（左：加振前，右：加振後）



写真5 キッチン（左：対策なし，右：対策あり）

と写真5は、被害と対策の効果の様子です。オフィスには、収納能力の高い（背の高い）書棚等があり、対策のための固定が無ければ、転倒は免れません。床の大きな揺れによって、キャスター付きの家具や器機は大きく移動します。コピー機のように200 kgにおよぶ重量物が、3m以上の揺れ幅で、3分以上動き回り、壁に穴を開ける状況も記録されました。当然、このような揺れの中で人間は立っていることが出来ません。重量物が衝突してくる時に、そこにいる人々は伏せている状態であり、無防備に上半身で受けてしまうのです。移動式書棚などの扱いもあり、オフィスの重量物に対する対策は、専門家との相談が必要でしょう。まずは、レイアウトを考え、ものを置く場所と働く場所を適切に区分し、被害を最小限にとどめる工夫が必要です。

マンションでも、家具や内容物の振る舞いは基本的に同じです。各家庭で、その脅威をしっかり認識する必要があります。例えば、キッチンにおいて、冷蔵庫のような重量物が転倒し、

食器・調理器具は滑落、飛散し凶器に変わります。家具は、突っ張り棒やL型アングル、粘着性耐震マットなどを用いて、適切に固定する必要があります。内容物の飛散や器具の移動は、専用の滑り止めマット、粘着性耐震マットによって防止できます。総合的な対策が、室内の状況を一変させます。

長周期地震動は、緊急地震速報によって数十秒まえに察知できます。マンションでは、ものの少ない安全な部屋を用意しておいて、そこに移動する、との取り決めなどを家族全員で確認しておくといよいでしょう。

オフィスの場合は、廊下に移動するとよいでしょう（廊下にはものを置いてはいけません）。

実験では、室内の被害状況と固定対策等の効果をビデオ映像として記録しています。内容は公開されており、下記のウェブサイトでもダウンロードできます。室内空間のリアルな映像は、防災意識を高め、対策の必要性を理解するのに有効です。

<http://www.bosai.go.jp/hyogo/movie.html>

おわりに

実際の超高層建物に比べれば、Eーディフェンスに載せられる試験体の高さはせいぜい1/4程度です。「相手が大きいから問題も大きい。」本研究では、実験装置を工夫することで振動台の性能を最大限に活かし、実際の揺れの中で超高層建物が受ける被害を、直接表現する実験を実現しました。そこから、起こりうる被害を読み取り、適切な対策を実践する必要があります。